

13. Міхно М. В. Зниження витрати палива та шкідливих викидів рухомих складом автомобільного транспорту раціональним вибором експлуатаційних факторів: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.10 / Український транспортний ун-т. – К., 1998. – 16с.
14. Сердюк О. Экология и автомобилестроение / О. Сердюк // Автостандарт. – 2004. – №4. – С. 37-41.
15. Смирнов Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, Й.В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 511 с.
16. Шустова, Д.В. Проблемы экологии на транспорте / Д.В. Шустова, Є.О. Воробйов // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів. – К., 2012. – С. 20–21.
17. Устименко В.С. Поліпшення екологічних показників автомобілів та розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування біоетанолу: дис. канд. техн. наук: 05.22.20 / Державне підприємство "Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний ін-т" / В.С. Устименко. – К., 2006. – 178 с.
18. Douaud A., Girard C. Which are the engine and fuel technologies for the sustainable development of road transport? // WEC Journal. – 2007. – July. – P. 10-21.

Поступила в редакцію 6 січня 2016 р.

Рекомендував до друку д. т. н. Я. О. Адаменко

УДК 504.064:624.011.01:069(477)

*Кривомаз Т. І., Перебинос А. Р.
Київський національний університет
будівництва та архітектури*

ВИЗНАЧЕННЯ ШКОДОЧИННОСТІ ГРИБІВ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЕКОБЕЗПЕКИ ДЕРЕВ'ЯНИХ КОНСТРУКЦІЙ В БУДІВНИЦТВІ

Узагальнено та систематизовано дані про гриби, що викликають пошкодження деревних конструкцій в будівництві. За типами шкідливого впливу на будівельну деревину виділено категорії грибів в залежності від їх деструктивних властивостей та фізіолого-метаболических особливостей. Для екобезпечного захисту деревних конструкцій в будівництві запропоновано інтегральний показник визначення шкодочинного потенціалу певних видів грибів: $DP = <FS + CW + SC + EF>$, де DP - шкодочинний потенціал гриба, FS - видоспецифічні характеристики гриба, CW - особливості стану деревних будівельних конструкцій, SC - загальний санітарний стан деревної споруди, EF - екологічні фактори оточуючого середовища.

Ключові слова: екобезпека, деревні конструкції, мікодеструкція, оцінка ризиків.

Обобщены и систематизированы данные о грибах, вызывающих повреждения деревянных конструкций в строительстве. По типам вредного влияния на строительную древесину выделены категории грибов в зависимости от их деструктивных свойств и физиолого-метаболических особенностей. Для экобезопасной защиты деревянных конструкций в строительстве предложен интегральный показатель определения вредоносного потенциала определенных видов грибов: $DP = <FS + CW + SC + EF>$, где DP - вредоносный потенциал гриба, FS - видоспецифические характеристики гриба, CW - особенности состояния древесных строительных конструкций, SC - общее санитарное состояние деревянного сооружения, EF - экологические факторы окружающей среды.

Ключевые слова: экобезопасность, деревянные конструкции, микодеструкция, оценка рисков.

© Кривомаз Т. І., Перебинос А. Р., 2016

The data fungi that cause of wooden structures damage in construction were generalized and systematized. The fungi were categorized according to the types of damage construction effects, their destructive properties, physiological and metabolic characteristics. For environmental safety protection of building wooden construction the integral index of detriment potential of fungi species was proposed: $DP = \langle FS + CW + SC + EF \rangle$, where DP – detriment potential, FS - specific features of fungi species, CW - condition of wooden structures, SC - sanitary condition, EF - environmental factors.

Keywords: environmental safety, wooden construction, fungi destruction, risk assessment.

Вступ. Деревина традиційно служить універсальним матеріалом в будівництві, проте процес виготовлення та використання деревних конструкцій супроводжується цілою низкою проблем, які потребують вирішення. Зокрема значні збитки та ризики будівельної галузі пов'язані з грибними пошкодженнями деревини. Велика кількість грибів здатні спричиняти прямим чи опосередкованим шляхом негативний ефект на дерев'яні конструкції та споруди, а також внутрішнє середовище приміщень та людям, які в них знаходяться. Загрози з боку грибів включають: 1) пошкодження та руйнування деревних матеріалів, конструкцій та споруд [3]; 2) надходження токсичних та алергічних агентів мікологічного походження в житлові та виробничі приміщення, а також в навколишнє середовище [2]; 3) поступове накопичення грибів, їх структурних елементів та продуктів метаболізму у концентраціях, здатних спричинити шкоду здоров'ю людей та деструкції деревних елементів будівель або повної руйнації споруд [12]. Гриби є постійними, нерідко небезпечними та агресивними супутниками людства, що істотно впливають на людину та її виробничу діяльність [2]. Велика кількість мікроскопічних грибів (мікроміцетів) здатна синтезувати мікотоксини та інші отрути, які шкідливо впливають на здоров'я людей, зумовлюють погіршення фізіологічного стану та знижують стійкість організму проти захворювань. Крім того, гриби є основними біотичними чинниками, які викликають пошкодження будівельних споруд [5]. Оселяючись на дерев'яних конструкціях або будівельних матеріалах, гриби зумовлюють їх деструкцію, чим спричиняють істотні економічні збитки. Для боротьби з грибними агентами, асоційованих з діловою деревиною використовують фунгіциди, які з одного боку здатні ефективно захистити матеріал від грибів, а з іншого - також можуть завдавати шкоду довкіллю та здоров'ю населення [1]. В зв'язку з цим, одним з важливих напрямків екобезпеки стає дослідження особливостей життєдіяльності грибів, асоційованих з деревиною, що використовується в будівництві. Оцінка шкодочинності певних мікологічних об'єктів та дослідження активності грибів, асоційованих з будівельною деревиною, сприятиме підвищенню точності підбору методів захисту дерев'яних конструкцій та, як наслідок, підвищить рівень безпеки для здоров'я людей, їх середовища існування та навколишнього середовища в цілому.

Полігоном для проведення моніторингу мікологічних деструкцій деревини було обрано Національний музей народної архітектури та побуту України «Пирогів» (НМНАПУ «Пирогів») [5]. Проблема збереження культурного надбання особливо актуальна в сучасних соціальних та екологічних умовах і потребує нових методів, технологій та стандартів як при проведенні консерваційно-реставраційних заходів, так і при встановленні чинників та механізмів деструктивних процесів. Особливо складно і не менш відповідально встановлювати роль грибів в процесі пошкодження музейних цінностей, де завжди є загроза або недооцінити цю роль, або ж її перебільшити [3]. Встановлення механізму деструктивної діяльності грибів на будівельних конструкціях потребує окремих досліджень, методика яких ще не розроблена остаточно і лише частково сформульована для окремих випадків.

Мета дослідження. Систематизація даних про контамінантну та деструктивну роль грибів у сфері екобезпеки будівельних деревних конструкцій та створення методологічної основи для оцінки ризиків грибної шкодочинності.

Виклад основного матеріалу. Гриби вважаються основним біотичним чинником пошкодження дерев'яних будівельних конструкцій, при цьому деструктивна активність мікологічних агентів залежить від умов будівництва та експлуатації споруд з деревини. Необхідно підкреслити, що грибні структури, зокрема спори, поширені практично скрізь, проте шкідлива дія грибних агентів проявляється тільки за певних умов. В деревину гриби потрапляють в процесі росту дерев, заготовки деревоматеріалів, в процесі їх обробки, зберігання та експлуатації. Осідання грибних спор на деревину є фактично безперервним процесом, інтенсивність якого відрізняється хіба що інтервалами, в тому числі і сезонними. Спори грибів здатні до поверхневої адгезії або можуть проникати через непомітні порушення структури деревини до більш глибоких шарів, зберігаючи життєздатність упродовж десятиріч і розпочинаючи активно функціонувати у разі виникнення сприятливих умов для їх розвитку. Хоча дія таких факторів, як температура, вологість, відсутність світлових та повітряних потоків, доступність субстрату, необхідна для всіх грибів, але вихід зі стану спокою відбувається лише в умовах, індивідуальних для кожного виду і навіть штаму [3]. В зв'язку з цим, надзвичайно важко орієнтуватись у часі виникнення пошкодження, його першопричинах та прогнозувати направленість і швидкість цього процесу.

Етапи деструкції деревини та асоційовані з ними гриби. Перша стадія пошкодження деревини відбувається за участю представників відділу Ascomycota та групи анаморфних грибів, які використовують легкодоступні компоненти деревини: резервні вуглеводи та інші сполуки. Ці гриби руйнують внутрішній вміст клітин, істотно не впливаючи на структуру клітинних стінок, тобто не розкладають лігніноцелюлозні комплекси, що формують основну масу деревини. Мікотичні агенти первинної деструкції – це переважно деревозабарблюючі гриби, які живляться вмістом відмерлих клітин заболоні, головним чином, багатих на поживні речовини клітин паренхіми серцевинних променів. Спочатку відбувається зміна забарвлення деревини в сірувато-синій та коричневий колір під впливом представників родів *Ceratocystis*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aureobasidium*. Це зумовлено вивільненням пігментів, головним чином меланінів, локалізованих у клітинних стінках грибів. Заселення деревини деревозабарблюваними грибами може відбуватись за температури від 5 до 30°C і вологості понад 22% [2]. Зазвичай розвиток грибів триває поки деревина зберігає природну вологість, а після її висихання життєдіяльність грибів майже повністю припиняється.

Друга стадія пошкодження деревини здійснюється, головним чином, за участю трутовиків та інших ксилотрофів, які здатні руйнувати важкодоступні полімери – лігнін і целюлозу. Ці гриби є збудниками бурої та білої гнилизни. Заключний, третій етап деструкції деревини триває десятки років. В ньому приймають участь як ксилотрофи, так і сапротрофи. Загалом на швидкість розкладання деревини впливають різноманітні чинники: вид деревини, її положення в конструкції, температура, вологість, тощо.

Класифікація мікодеструкторів деревини за їх ферментативною активністю. Деревина переважно складається з целюлози, яка формує структурну основу оболонок деревних клітин і утворює комплекси з інкрустувальними речовинами: геміцелюлозами, пектинами та лігніном. До складу деревини також входять таніни (або дубильні речовини), смоли, воски та невелика кількість білків. Здатність розкласти різноманітні речовини обумовлена синтезом в грибних клітинах широкого набору ензимів: глікозидгідролаз, ліаз, естераз та інших ферментів [2].

Целюлозодеструктори. Тканини деревини на 40-44% за масою складаються з целюлози (60% міститься у хвойних породах та 40% - в листяних), а вміст її в луб'яних волокнах становить 60-85%. Здатність розкласти целюлозу притаманна дереворуйнівним базідіомікотовим грибам, які синтезують весь комплекс целюлолітичних ферментів [6], а

також деяким представникам аскомікотових та анаморфних грибів. Важливу роль в розщепленні целюлози відіграють мікроміцети із родів *Fusarium* і *Chaetomium*, а також деякі види родів *Stachybotrys*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Myrothecium* зокрема: *Aspergillus fumigatus*, *A. nidulans*, *A. niger*, *A. foetidus*, *Botrytis cinerea*, *Chaetomium globosum*, *Myrothecium verrucaria*, *Rhizoctonia solani*, *Trichoderma viride*, *T. reesei*, *T. harzianum* [8]. Гриби, які розкладають переважно целюлозу, зумовлюють розвиток бурої гнилизни деревини.

Геміцелюлодеструктори. До групи геміцелюлоз входить майже третина всіх вуглеводів у тканинах деревних рослин. В деревині вміст геміцелюлоз та лігніну (високомолекулярного полімеру не полісахаридної природи) становить від 5 до 30% сухої маси. У грибів роду *Aspergillus* є велика кількість ферментів, що беруть участь в деградації геміцелюлоз, наприклад, *A. niger* здатний синтезувати 188 ферментів, що активно розщеплюють вуглеводи [11].

Лігнінодеструктори. В здерев'янілих тканинах міститься від 18 до 35% лігніну. Найбільше лігніну містить деревина хвойних порід (до 35%), а в деревині листяних порід частка лігніну становить 20-25%. Специфічна деградація лігніну відбувається за участю лігнін-деструктора *Phanerochaete chrysosporium* [2]. Найактивніші групи грибів, які розкладають лігнін, належать до дереворуйнівних представників базидіомікотових, які зумовлюють розвиток білої гнилизни.

Пектинодеструктори. Пектини в деревині зазвичай наявні в меншій кількості: в перерахунку на сирі масу матеріалу їх вміст досягає 0,5-4,0%. Велика кількість пектинолітичних ферментів виявлено у грибів *Aspergillus niger*, *Botrytis cinerea*, *Chondrostereum purpureum*, *Rhizopus oryzae* [10].

Танінодеструктори. Концентрація танінів дуже різниться у різних видів деревних порід і може досягати до 40% у перерахунку на суху масу. Таніни, як і лігнін та інші поліфеноли, стійкі до біологічного розкладання. Однак низка грибів, які спричиняють розвиток білої гнилизни (наприклад, *Sporotrichum pruinosum*, *Ceriporiopsis subvermispora*, *Syathus stercoreus*, *Coriolopsis gallica*), здатні розкласти дубильні речовини. Крім того біодеградація танінів може здійснюватись представниками родів *Aspergillus*, *Fusarium*, *Cylindrocarpon*, *Gliocladium*, *Endothia*, *Calvatia*, *Penicillium*, *Trichoderma* [13].

Ліпідодеструктори. До деструкторів ліпідів та ліпідоподібних речовин належать гриби здатні синтезувати ліпази та інші ліполітичні ферменти: *Mucor lipolyticus*, *Rhizopus nigricans*, *Aspergillus niger*, *Penicillium verrucosum*, *P. roqueforti* [12].

Класифікація грибних контамінантів будівельної деревини за шкодочинністю.

За способом завдання шкоди деревним конструкціям та людям, які знаходяться в побудованих приміщеннях, виділяють дереворуйнівні, деревозабарлювані та токсикогенні гриби, а також контамінантні гриби, шкодочинність яких точно не встановлена, або проявляється тільки за певних умов (рис. 1).

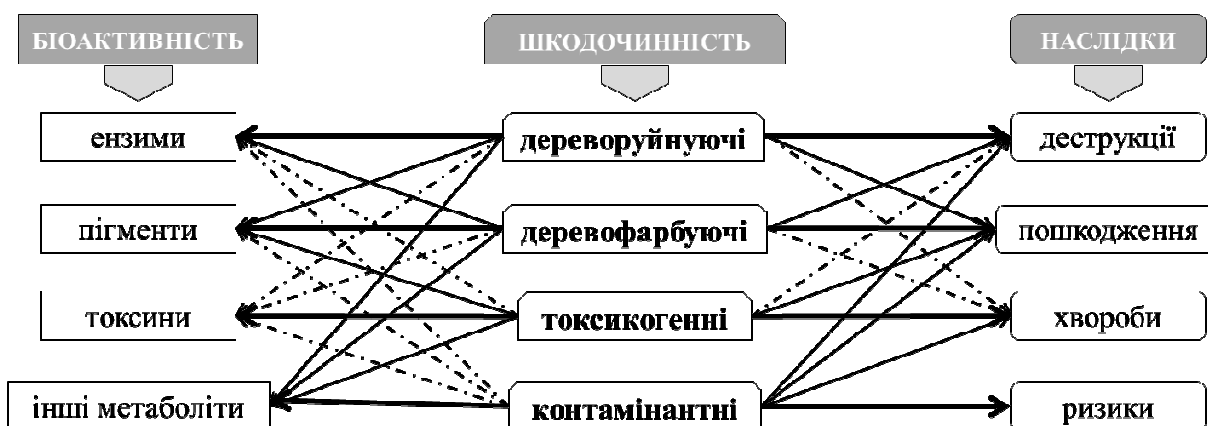


Рис. 1. Схема активності грибів, асоційованих з дерев'яними конструкціями

Дереворуйнівні. Збудники білої гнилизни (корозійний розклад) надають перевагу деревині листяних порід, а руйнування деревини хвойних здійснюється переважно за участю грибів-збудників бурої гнилизни (деструктивний розклад).

Збудники бурої гнилизни (*Coniophora* spp., *Fomitopsis pinicola*, *Phaeolus schweinitzii*, *Laetiporus sulphureus*, *Fistulina hepatica* та ін.) перетворюють деревину на червонувато-коричневу масу, руйнуючи, головним чином, її целюлозний та геміцелюлозний компонент. Особливо небезпечним для житлових будівель та дерев'яних конструкцій є справжній домовий гриб *Serpula lacrymans* (родина Coniophoraceae, порядок Boletales, відділ Basidiomycota). За відповідних умов цей гриб може повністю зруйнувати дерев'яну споруду. Найінтенсивніше гниття деревини відбувається за вологості повітря 90-95% і температури 18-23°C [12].

Збудники білої гнилизни (*Trametes versicolor*, *T. hirsuta*, *Phlebia radiata*, *Ph. brevispora*, *Pycnoporus sanguineus*, *Daedalia flava*, *Heterobasidion annosum*, *Pleurotus ostreatus*, *Fomes fomentarius*, *F. fasciatus*, *Loweoporus lividus*, а також представники родів *Armillaria*, *Ganoderma*, *Polyporus*, *Pleurotus*, *Pholiota*, *Clitocybe*, *Collybia*, *Marasmius*, *Mycena*) руйнують деревину, перетворюючи її на білу масу, впливаючи в першу чергу на лігнін [9].

В групу збудників м'якої гнилизни виділяють гриби, які здатні однаковою мірою розкласти і лігнін, і целюлозу: *Pleurotus ostreatus*, *Ganoderma lipsiense*, *Bjerkandera adusta*, *Armillaria mellea*.

Деревозабарвлені. Особливості забарвлення деревини залежать від виду гриба, глибини проникнення міцелію, тривалості впливу, кількості та кольору пігменту. В більшості випадків під час повільного висихання деревоматеріалів розвиток забарвлення відбувається тільки в заболоні і не проникає в серцевину дерева. Деревозабарвлені гриби зумовлюють різноманітне за розташуванням, малюнком, кольором та інтенсивністю патологічне фарбування деревини, яке зазвичай проявляється у вигляді кольорових смуг або плям, рідше у вигляді суцільного забарвлення [2].

Синява зумовлена дією грибів має відтінки сірого, голубовато-сірого, синюватого, зеленувато-синього, сіро-коричневого і синювато-чорного кольорів. Таке забарвлення спричиняють понад 100 видів грибів. Деревину хвойних порід, в основному сосни та ялини, найчастіше вражають гриби роду *Ceratocystis* із відділу аскомікотових (*C. coerulescens*, *C. comata*, *C. imperfecta*) та *Ophiostoma piliferum*, *O. minus*, *O. piceae*, *Ochrocladosporium elatum*, а також анаморфні гриби *Leptographium lundbergii*, *Aureobasidium pullulans*, *Discula pinicola*, *Alternaria humicola* та ін. Деревину листяних порід фарбують *Ceratocystis buxi*, *Ophiostoma quercus*, *O. piceae* та анаморфні гриби *Cladosporium herbarum*, *Discula pinicula*, *Phialophora americana* та ін. Оптимальні умови для більшості збудників синяви – температура від 20 до 27°C, вологість деревини 35-80% та наявність в ній повітря не менше 15% від об'єму [12].

Коричневий колір деревини спричиняють анаморфні гриби: у сосни *Burgoa anomala*, кедр – *Graphium aureum*, бука – *Graphium album*. Коричнево-чорне забарвлення викликають у берези та бука – *Bispora antennata* і *Monodictus antiqua*, у бука – *Bulgaria inquinans*. Бурий колір деревини обумовлений діяльністю *Stereum sanguinolentum* на хвойних породах дерев та *Chaetomium murorum* - на хвойних та листяних [12].

Червоний колір різних відтінків спричиняє базидіомікотовий гриб *Cylindrobasidium evolvens*, який вражає деревину переважно хвойних порід, зрідка осики, зумовлюючи глибоке червонувате або рожево-оранжеве забарвлення заболоні у вигляді смуг, яке блідне по мірі висихання деревини. Також червоний колір надають деревині *Clonostachys rosea*, *Penicillium purpurogenum*, *Acrostalagmus luteoalbus*. Криваво-червоне забарвлення деревини хвойних порід і дуба спричиняє інший базидіальний гриб *Phanerochaete sanguinea*, червоний пігмент якого накопичується в клітинах серцевинних променів і трахеїдах. В яскраво-пурпуровий колір фарбує деревину хвойних порід *Epicoccum purpurascens*. Деревина волоського горіха може мати фіолетове забарвлення під

впливом *Fusarium javanicum*. Також до цієї деревної породи приурочений *F. sambucinum* var. *sambucinum*, що фарбує її малиновий колір. Крім того, цей вид обумовлює червонувато-малиновий, рожевий і фіолетовий колір сосни і ялини. Утворення червоних плям на деревині клена спричиняє *F. reticulatum* [2].

Переривчасті смуги і плями лимонно-жовтого кольору викликає *Verticillium glaucum* при високій вологості деревини хвойних і листяних порід. Золотисто жовтий пігмент синтезує *Eidamia catenulate*. Забарвлення у вигляді жовтих язиків на деревині листяних порід спричиняє *Hericium diversidens* [2].

Зеленувато-жовтий відтінок соснової та ялинової деревини викликає *Trichoderma viride*. В інтенсивний синьо-зелений колір фарбують деревину листяних порід *Chlorociboria aeruginosa* та *Ch. aeruginosascens*. Різні відтінки зеленого виникають під впливом *Penicillium commune*, *P. divergens*, *Fusarium cavispermum* і *Trichoderma koningii* [12].

Зазвичай діяльність деревофарбуючих грибів не має помітного впливу на фізико-механічні властивості деревини та її хімічний склад, однак внаслідок тривалої дії, деякі гриби частково розкладають молекули геміцелюлоз та збільшують проникність клітинних стінок внаслідок їх перфорації своїми гіфами [2].

Токсикогенні. Мікотоксини – отруйні низькомолекулярні речовини, що продукуються мікроскопічними грибами і проявляють свою дію у відносно невеликих концентраціях. Деякі мікотоксини індукують генетичні порушення та процеси канцерогенезу, інші зумовлюють тератогенний, ембріотоксичний, дисбактеріозний, алергенний, дерматонекротичний ефекти [2]. Найпоширенішими і найтоксичнішими мікотоксинами є афлатоксини, цитринін, ерготоксин, фумонізени, охратоксини, патулін, трихотецени, зеараленон. Мікотоксини найчастіше синтезують анаморфні гриби із родів *Fusarium*, *Aspergillus*, *Myrothecium*, *Stachybotrys*, *Trichoderma*, *Trichothecium*, *Penicillium*. Багато видів мікроміцетів, що виявляють при обстеженні дерев'яних конструкцій, вважаються збудниками поверхневих інфекцій шкіри, оніхомікозів, опортуністичних та системних мікозів у пацієнтів з порушеним імунітетом. Це окремі види з роду *Candida*, *Rhizopus arrhizus*, *Absidia corymbifera*, *Aspergillus flavus*, *A. fumigatus*, *Stachybotrys alternans*. *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Paecilomyces*, *Scopulariopsis* та інших гіфоміцетів, які утворюють значну кількість спор і легко поширюються, можуть спричиняти алергічні стани людини [3]. В зв'язку з цим, в процесі проведення мікологічного обстеження дерев'яних конструкцій, необхідно враховувати потенційну патогенність мікроміцетів. Оцінка за критерієм шкодочинності та санітарним критерієм патогенності для людини здійснюється згідно спеціально розробленій класифікації ступенів потенційної небезпеки (Biosafety levels, BSL).

Оцінка шкодочинності грибів в системі екобезпеки при будівництві та експлуатації дерев'яних конструкцій. Найбільш складним моментом при визначенні ризиків шкодочинності грибів, виявлених на деревних конструкціях, є трактування ймовірності інтенсивного розвитку певного мікологічного виду та деструкції деревини. У більшості випадків важко визначитись, чи слід вважати виявлені гриби звичайними контамінантами, чи необхідно відносити їх до небезпечних деструкторів [3]. Аргументованим доказом руйнівної здатності певного гриба може бути безпосередньо викликана ним деструкція, але для реалізації завдань екологічної безпеки будівництва необхідно вжити своєчасні заходи для запобігання руйнівним процесам, не очікуючи на їх наочну дію. В зв'язку з цим виникає нагальна потреба в розробці методології превентивної оцінки шкодочинного потенціалу мікологічних контамінантів будівельної деревини. При складанні оцінки необхідно враховувати ряд показників, що включають видоспецифічні характеристики гриба, особливості стану деревних конструкцій, загальний санітарний стан споруди та екологічні фактори оточуючого середовища. Інтегральний показник «шкодочинний потенціал гриба» для деревних конструкцій в будівництві пропонується визначати за наступною формулою:

$$DP = FS + CW + SC + EF, \quad (1)$$

де DP - шкодочинний потенціал гриба (damage potential);
 FS - видоспецифічні характеристики гриба (specific features of fungi species);
 CW - особливості стану деревних будівельних конструкцій (condition of wooden structures);
 SC - загальний санітарний стан деревної споруди (sanitary condition);
 EF - екологічні фактори оточуючого середовища (environmental factors).
Рівень ризику для кожного чинника визначається відповідно до закону Вебера-Фехнера:

$$r = a \cdot \lg \frac{C}{C_0}, \quad (2)$$

де r – рівень ризику;
 a – коефіцієнт пропорційності;
 C – значення інтенсивності фактору (концентрації речовин, швидкість росту, температура, вологість, тощо);
 C_0 – найменша ступінь інтенсивності фактору, при якій зберігається нейтральний ефект [4, 7].

Для визначення видоспецифічних характеристик гриба аналізують наявність інформації про деструктивну здатність гриба і його патогенні властивості, адаптованість до субстрату та ступінь його колонізації, показники ростових процесів, фізіолого-екологічні особливості та інше. Показники ростових процесів характеризуються швидкістю формування колоній, появою спорonoшень та плодових тіл, перехід між різними фазами життєвого циклу, тощо. Враховується адаптованість до певних матеріалів і особливості метаболізму грибів. За критерієм швидкості росту розрізняють такі варіанти формування колоній мікроміцетів: повільно росли (10-14 діб), помірно росли (7-10 діб) та швидкорослі (3-5 діб). Швидкість росту вважають показником життєдіяльності виділеної культури, що є підставою для прогнозування можливості виникнення деструктивного процесу, а пристосованість до субстрату – критерієм адаптованості і ферментативної активності [3]. Типовими еколого-трофічними ознаками є здатність продукувати біологічно активні сполуки, наявність комплексу гідролітичних ферментів, особливо целюлозолітичних.

Відмічають особливості стану деревних будівельних конструкцій, реєструючи тип і фактуру деревини, її вік, виявлені пошкодження та наслідки процесів життєдіяльності грибів. В процесі виникнення пошкоджень вирішальну роль має фізико-хімічні властивості поверхні матеріалу: гідрофобна поверхня перешкоджає адгезії і розвитку грибів, у той час як гідрофільна – сприяє. Таким чином, значну роль відіграють вид деревини та її гідрофільні властивості, як субстрату для грибів. Колонізуючи деревину, деякі гриби здатні виділяти агресивні метаболіти, які навіть у мікрокількостях можуть спричиняти зміну поверхневого шару матеріалу. Втрата грибовійкості матеріалів спостерігається внаслідок старіння, стану та умов експлуатації деревних конструкцій.

Запилення і забруднення є джерелами інфекції, створюючи сприятливі передумови для постійної контамінації, адгезії і збереження життєздатності спор грибів. Наявність пилу на деревних поверхнях порушує контакт матеріалу з повітрям і сприяє конденсації вологи, що стимулює процес проростання грибних спор. Часточки пилу використовуються мікроміцетами як живильний субстрат, оскільки близько 60-75 % його складу припадає на органічну складову, а від 2 до 46 % пилових часточок є носіями мікроорганізмів [3]. Крім того, санітарний стан дерев'яних споруд відображають мікробіологічні характеристики повітря, а повітряні потоки сприяють поширенню спор. Для оцінки потенційної ролі забруднення у виникненні пошкоджень встановлюють хімічний склад повітря та його інфікованість мікроорганізмами.

Найсуттєвішими абіотичними екологічними факторами оточуючого середовища для розвитку і росту грибів є вологість і температура. Для кожного виду грибів параметри цих факторів індивідуальні, однак більшість мікроміцетів реагує на підвищення вологості в межах 60-85 %, хоча температура може не перевищувати 15-20 °С. Оптимальною умовою для більшості видів мікроміцетів становить вологість 85-90 %, проте існує ряд ксеротолерантних видів, які починають розвиватися на субстратах зі зниженою вологістю та тих, що підсихають [3]. Оптимальні параметри рН для розвитку більшості грибів становлять 4,5-6. Велике значення для росту мікроміцетів має температура, що впливає на конідієутворення, пігментацію та продукування метаболітів. Щодо температурного фактора мікроміцети розподіляються на три категорії: 1) психрофіли – ростуть при температурі від 0 до 20 °С, оптимум 15-18 °С; 2) мезофіли – від 5 до 37 °С, оптимум 25-28 °С; 3) термофіли – ріст у межах 30-60°С, оптимум 45-55 °С. Проте для переважної більшості видів мікроміцетів оптимальною температурою вважається 25-26 °С [3].

Збереження дерев'яних історико-архітектурних споруд в НМНАПУ «Пирогів». Слід підкреслити, що виявлення життєздатних структур грибів на будівельних деревних конструкціях не завжди можна вважати свідченням їх шкодочинності, що неодмінно призведе до руйнівних процесів деревини. Ефективним засобом запобігання розвитку чинників деструктивного процесу деревних конструкцій досягається дотриманням відповідних параметрів температури, вологості, циркуляції повітря та санітарного стану споруд. В НМНАПУ «Пирогів», де в ході наших первинних обстежень було виявлено мікологічні пошкодження дерев'яних пам'яток архітектури [5], адміністрацією музею були своєчасно вжиті дієві заходи по запобіганню деструкції. Для усунення підтікань перекрито дахи найбільш проблемних будівель, причому використовувалися аналогічні матеріали, які застосовувалися в оригінальних варіантах споруд. Найбільш пошкоджені ділянки деревних конструкцій були видалені та замінені новими деталями з відповідних порід дерев. Співробітники музею усіма доступними методами намагаються забезпечити відповідну циркуляцію повітряних мас у внутрішніх приміщеннях. Для запобігання розвитку грибних спороношень опалення в будівлях підтримується на мінімальному рівні навіть в холодні сезони. Для боротьби з мікологічними чинниками деструктивних процесів деревини застосовується комплекс профілактичних заходів: технічне забезпечення стабільного внутрішнього мікроклімату, провітрювання, просушування, знепилення, а також регулярний мікологічний контроль стану деревних конструкцій. Моніторинг мікологічних контамінантів дерев'яних історико-архітектурних пам'яток НМНАПУ «Пирогів» дозволить виявити основні мікодеструктори, після чого передбачається розроблення спеціалізованих методів захисту деревини історичних споруд. Вирішення проблеми збереження музейних цінностей можливе лише за умов наукового підходу до організації зберігання. Такий підхід передбачає комплексне стримування процесів старіння матеріалу. Стратегія захисту передбачає взаємозв'язок профілактичних проблем з біологічними, технологічними, фізико-хімічними і екологічними. Це організація зберігання з залученням фахівців різних напрямків – адміністраторів музею, реставраторів, біологів, екологів, хіміків та всіх небайдужих до збереження національного надбання.

Висновки. В перспективі застосування інтегрального показника рівня мікологічної екобезпеки деревних конструкцій для оцінки ризиків деструкції та суттєвих пошкоджень матеріалу забезпечить значну економічну вигоду. Своєчасне виявлення небезпечних мікодеструкторів деревини дозволить уникнути їх руйнівного впливу за допомогою відповідних превентивних заходів. Точна оцінка вірогідності небезпеки сприятиме адекватній реакції на можливі ризики, що дозволить зменшити використання шкідливих фунгіцидів. Розрахунки потенціалу шкодочинності грибів дозволить виокремити токсикогенні види та своєчасно зупинити їх розвиток, захистивши таким чином здоров'я населення.

В результаті даного дослідження зроблені наступні висновки:

1. Обґрунтовано основи методології превентивної оцінки шкідливого впливу мікологічних контамінантів будівельної деревини та виділено категорії грибів в залежності від їх деструктивних властивостей та фізіолого-метаболічних особливостей.
2. Для екобезпечного захисту деревних конструкцій в будівництві запропоновано інтегральний показник визначення ризиків шкочинного потенціалу грибів: $DP = < FS + CW + SC + EF >$, де DP - шкочинний потенціал гриба, FS - видоспецифічні характеристики гриба, CW - особливості стану деревних будівельних конструкцій, SC - загальний санітарний стан деревної споруди, EF - екологічні фактори оточуючого середовища.
3. Використання концепції екологічного ризику як міри небезпеки дозволить здійснювати ефективний менеджмент захисту деревних конструкцій в будівництві для запобігання шкочливого впливу на оточуюче середовище та здоров'я населення.
4. Проведення мікологічного екомоніторингу надасть можливість своєчасного прийняття запобіжних дій для захисту матеріалів та споруд, а також надасть рекомендації по методах боротьби з грибними деструкторами деревини для усунення їх шкочливого впливу.

Література

1. Гайда С.В. Хімічний склад та ступінь забруднення – основа систематизації вживаної деревини. Ліс. госп-во, ліс., папер. та деревооб. пром-сть / С.В. Гайда // Міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: НЛТУ України. – 2008. - вип. 34. – С. 58-66.
2. Екологія грибів: монографія / Г.Л. Антоняк, З.І. Калинець-Мамчур, І.О. Дудка, Н.О. Бабич, Н.Є. Панас. – Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 628 с.
3. Коваль Е.З. Мікологічне обстеження музейних пам'яток / Е.З. Коваль, Т.І. Митківська. – Київ: Національний науково-дослідний реставраційний центр України, 2011. — 232 с., 212 іл.
4. Кривомаз Т.І. Методологічні підходи до формування «Паспортів екологічної безпеки видів» / Т.І. Кривомаз, О.С. Волошкіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2015. - № 4. – с. 36-45.
5. Кривомаз Т.І. Первинна оцінка мікопошкоджень дерев'яних споруд в НМНАПУ «Пирогів» / Т.І. Кривомаз, А.Р. Перебинос // Екологічна безпека та природокористування. – 2015. – № 18. – с. 66-75.
6. Baldrian P. Degradation of cellulose by basidiomycetous fungi / P. Baldrian, V. Valášková // FEMS Microbiol Rev. – 2008. – Vol. 32, N.3. – P. 501-521.
7. Kryvomaz T. The risk assessment of threats from biological objects in environmental safety (Оцінка ризику загроз з боку біоб'єктів в сфері екологічної безпеки) / Т. Kryvomaz, О. Voloshkina // Motorol (Польща). Polish Academy of Sciences – Lublin, 2014. – Vol. 16, No 8 - P. 137-144.
8. Lee C.K. Production and optimization of cellulase enzyme using *Aspergillus niger* USM AI 1 and comparison with *Trichoderma reesei* via solid state fermentation system / C.K. Lee, I. Darah, C.O. Ibrahim // Biotechnol. Res. Int. – 2011. – Vol. 658493. – P. 2090-3138.
9. Lundell T.K. Lignin-modifying enzymes in filamentous basidiomycetes - ecological, functional and phylogenetic review / T.K. Lundell, M.R. Mäkelä, K. Hilden // Microbiol. – 2010. – Vol. 50, N 1. – P. 5-20.
10. Mertens J.A. Expression and characterization of fifteen *Rhizopus oryzae* 99-880 polygalacturonase enzymes in *Pichia pastoris* / J.A. Mertens, M.J. Bowman // Curr. Microbiol. - 2011. – Vol. 62, N 4. – P. 1173-1178.
11. Pel H.J. Genome sequencing and analysis of the versatile cell factory *Aspergillus niger* CBS 513.88 / H.J. Pel, J.H. de Winder, D.B. Archer et al. // Nat. Biotechnol. – 2007. – Vol. 25, N 2. – P. 221-231.

12. Schmidt O. Wood and Tree Fungi: Biology, Damage, Protection, and Use / O. Schmidt. – Berlin: Springer, 2006. – 334 p.

13. Yagüe S. Biotreatment of tannin-rich beer-factory wastewater with white-rot basidiomycete *Coriolopsis gallica* monitored by pyrolysis/gas chromatography/mass spectrometry / S. Yagüe, M.C. Terrón, T. González et al. // Rapid Commun Mass Spectrom. – 2000. – Vol. 14, N 10. – P. 905-910.

Поступила в редакцію 9 грудня 2015 р.

Рекомендовала до друку доктор технічних наук О.С. Волошкіна

УДК 66.021+66.048.3

**Яхненко О. М., Черниш Є. Ю.,
Пляцук Л. Д., Трунова І. О.**
Сумський державний університет

САМОЗАРОСТАННЯ ВІДВАЛУ ФОСФОГІПСУ ЯК ПОКАЗНИК РІВНЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ

У статті визначено основні закономірності протікання процесу рекультивациі відвалу фосфогіпсів та зміни при цьому техногенного навантаження на довкілля. Проведено аналіз складу і властивостей фосфогіпсових відходів різного часу складування та досліджено особливості виникнення сукцесійних змін в процесі самозаростання поверхні відвалів фосфогіпсу.

Ключові слова: відвал фосфогіпсу, сукцесійні зміни, техногенне навантаження, відхід

В статье определены основные закономерности протекания процесса рекультивации отвала фосфогипса и изменения при этом техногенной нагрузки на окружающую среду. Проведен анализ состава и свойств фосфогипсовых отходов разного времени складирования и исследованы особенности возникновения сукцессионных изменений в процессе самозаращания поверхности отвалов фосфогипса.

Ключевые слова: отвал фосфогипса, сукцессионные изменения, техногенная нагрузка, отход

The article focused on the basic mechanisms of the recultivation process of phosphogypsum dump and changing of the technogenic impact on the environment. The composition and properties of phosphogypsum waste were analyzed for different periods of the dumping. The features of successional changes during self-overgrowing of surface of phosphogypsum dumps were studied.

Keywords: phosphogypsum dump, successional change, technogenic impact, waste

Актуальність теми. Необхідність виробництва фосфоровмісних добрив є причиною виникнення багатотонажних відходів у вигляді фосфогіпсу. Розміщення виробництв мінеральних добрив часто відбувається в межах міст (в Україні – Суми, Рівне, Армянськ, Вінниця, Дніпродзержинськ), що обумовлює негативні екологічні наслідки як у результаті виробництва продукції, так і при утилізації або зберіганні відходів даних виробництв.

Утворення фосфогіпсу на 1 т P_2O_5 у фосфорній кислоті при дигідратному процесі коливається від 2 до 6 % в залежності від вмісту кальцію у фосфатній сировині, у випадку

© Яхненко О. М., Черниш Є. Ю., Пляцук Л. Д., Трунова І. О., 2016